

DIE WÄRMEENTWICKLUNG BEIM HÖCHSTTOURIGEN BESCHLEIFEN DER
ZAHNHARTSUBSTANZ IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANGEWANDTEN KRAFT
UND DER VERSCHIEDENEN KÜHLMÖGLICHKEITEN

Bernd Trampe-Kieslich

1975

Aus der Poliklinik der Zahnerhaltungskunde der Klinik für
Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Johannes Gutenberg - Universität Mainz

DIE WÄRMEENTWICKLUNG BEIM HÖCHSTTOURIGEN BESCHLEIFEN DER
ZAHNHARTSUBSTANZ IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANGEWANDTEN KRAFT
UND DER VERSCHIEDENEN KÜHLMÖGLICHKEITEN

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz, den Medizinischen
Fachbereichen

vorgelegt von

Bernd Trampe-Kieslich
aus Geseke i. Westfalen

Mainz 1975

Fachbereichsdekan:

Professor Dr. K. Fuhr

Referent:

Professor Dr. Dr. W. Ketterl

Korreferent:

Professor Dr. A. Fessler

Tag der mündlichen Prüfung:

17. Dezember 1975

Gesamtherstellung



DITTERS BÜRODIENST

6501 HEIDESHEIM/RHEIN

AM KAPELLEN 1 · RUF 0 61 32 / 57 11



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
2. Das Problem der Wärmeentwicklung beim
höchsttourigen Bohren und Schleifen
 1. Experimentelle und klinische Untersuchungen
 2. Histologische Untersuchungen
3. Eigene Untersuchungen
Material und Methodik
4. Ergebnisse
5. Diskussion der Ergebnisse
 1. Zweidüsensystem
 2. Eindüsensystem
 3. Vergleich der Düsensysteme
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554413_0011

EINLEITUNG

Heute ist das Arbeiten mit höchsttourig laufenden Instrumenten nicht mehr aus der zahnärztlichen Praxis wegzudenken. Mit der von dem Amerikaner BORDEN entwickelten Turbine trat allerdings auch das Problem der beim Bohren und Schleifen auftretenden Reibungswärme stark in den Vordergrund. Es mußte eine Möglichkeit gefunden werden, die besonders beim höchsttourigen Schleifen entstehende Reibungswärme wirkungslos werden zu lassen. Es bot sich die Luft- und die Wasserkühlung und auch die Kühlung mittels eines Sprays - also einer Luft-Wassermischung - an.

Auf Anregung von Herrn Professor Dr. Dr. W. Ketterl habe ich in der vorliegenden Arbeit untersucht, ob die Kühlung der höchsttourig laufenden Instrumente mit zwei Sprays erhebliche Vorteile gegenüber der Kühlung mit nur einem Spray zeigt.

1. Experimentelle und klinische Untersuchungen

Seit Einführung der Turbine ist immer wieder klinisch und experimentell untersucht worden, welche Auswirkungen das höchsttourige Bohren und Schleifen auf Schmelz, Dentin und Pulpa hat. (3, 8, 10, 12, 14, 20, 23, 24, 26, 27, 31 u.a.)

Wie anfangs bereits erwähnt, steht das Problem der Wärmeentwicklung im Mittelpunkt der Untersuchungen. Der Wärmereiz ist beim Präparieren mit der Turbine als hauptsächliche Schmerzursache anzusehen.

Andere mechanisch auslösbare Schmerzursachen sind der Auflage-
druck und die Vibration.

" Der Zahn stellt mit seiner Halterung im Periodontium, dem Unterkiefer bzw. Schädel, den Gelenken und Muskeln ein schwingungsfähiges, elastisches System dar. " (10)

Beim normal- bzw. hochtourigen Arbeiten wird die Vibration als besonders störend empfunden. Diese mögliche Schmerzursache fällt beim Arbeiten mit der Turbine weitgehend fort. Die Turbinen arbeiten jedoch keineswegs vibrationslos, nur sind die Schwingungen von so hoher Frequenz, daß sie nicht mehr wahrgenommen werden.

Nach WALSH und SYMMONS (35) liegt die Grenze einer möglichen Vibrationswahrnehmung mit individuellen Unterschieden zwischen 500 Schwingungen und 850 Schwingungen pro Sekunde. WALSER (33) hat festgestellt, daß oberhalb einer Frequenzhöhe von 1600 Hz keine seiner 20 Versuchspersonen ein Vibrationsgefühl empfand. Da oberhalb von 1300 Hz nur eine Person eine Vibration wahrnahm, ist die Frequenzhöhe von 1600 Hz als Ausnahmefund zu werten. Nach seinen Untersuchungen reicht also im allgemeinen eine Frequenz von 1300 Hz aus, um ein Vibrationsgefühl auszuschalten.

In jedem Fall liegt der Wert deutlich unter der Grundfrequenz von 3000 Hz, die mit Luftturbinen bei 200.000 U/min. gemessen wurde.

Auch der Druck als mögliche Schmerzursache tritt beim Arbeiten mit der Turbine in den Hintergrund. Allerdings nur unter der Voraussetzung, daß die von vielen Autoren (1, 7, 12, 19, 21, 26 u.a.) immer wieder gestellten Forderungen eingehalten werden: Es muß intermittierend, tupfend mit leichter Hand gearbeitet werden. Die Bohrer oder Schleifer müssen scharf sein und dürfen nicht schlagen. Der Druck sollte etwa 25 - 50 p betragen (8, 10). Diese Druckanwendung kann natürlich leicht vergrößert werden. Obwohl die heutigen Turbinen sehr geräuscharm arbeiten, läßt sich der Auflagedruck doch noch leicht durch den Pfeifton kontrollieren. EICHNER (4) erwähnt die sogenannte "Rutschkuppelung" im Turbinenkopf. Sie stellt ebenfalls eine wertvolle Hilfe zur Vermeidung zu großer Vorschubkräfte dar.

Der aufgewandte Druck ist nicht nur eine mögliche Schmerzursache, sondern steht auch in Beziehung zur Wärmeentwicklung beim Bohren und Schleifen.

Während des Bohr- bzw. Schleifvorganges kommt es durch die auftretende Arbeits- und Reibungswärme und auch durch die Schallabsorption (10) besonders beim Arbeiten mit der Turbine zur Erwärmung des Zahnes.

Eine klare Definition der Begriffe Arbeitswärme und Reibungswärme gibt FUHR (7):

"Die Arbeitswärme entsteht durch Zerstörung der Molekülverbände; und zwar einmal durch die Stauchung der Spanquerschnitte und zum anderen durch die Trennung der Späne aus dem Molekülverband der bearbeiteten Substanz.

Die Reibungswärme entsteht durch die Reibung zwischen Bohrer-schneide und Werkstück, durch die Reibung zwischen Schneide und dem abgefästen Span, durch die gegenseitige Reibung

der losgelösten Späne aneinander und durch die Reibung der Späne an dem noch nicht bearbeiteten Werkstück. "

Bevor ich aber näher auf das Problem der Wärmeentwicklung eingehe, soll kurz auf die Möglichkeiten der Temperaturmessung an der Präparationsstelle und im Pulpenkavum hingewiesen werden:

Im allgemeinen werden Untersuchungen zur Bestimmung der Temperaturverhältnisse beim höchsttourigen Bohren und Schleifen mit Hilfe von Thermoelementen durchgeführt (5, 6, 7, 14, 26, 31, 34).

Thermoelemente haben den Vorteil des geringen Raumanspruchs, können also leicht und exakt plazierte werden. Es werden in der Regel Eisen-Konstantan- oder Kupfer-Konstantan-Thermoelemente mit geringem Drahtdurchmesser (0,1 mm) benutzt. Es ist unbedingt erforderlich mit Thermoelementen aus dünnsten Drähten zu arbeiten, um den Verlust an Wärmeenergie möglichst klein zu halten. " Da die Wärmeleitung eines Metalldrahtes mit zunehmendem Querschnitt ansteigt, wird der Wärmeverlust um so größer sein, je dicker die verwendeten Drähte sind. " (29)

STÜBEN (29) weist außerdem darauf hin, daß nur genaue Meßergebnisse erzielt werden können, wenn das Thermoelement an der Meßstelle mit einem Material verankert ist, welches weitgehend mit der Wärme- und Temperaturleitfähigkeit mit der Zahnhartsubstanz übereinstimmt.

Zur Temperaturbestimmung an der Präparationsstelle benutzt HOFMANN (12) Thermochrome. Eine genaue Temperaturangabe ist damit allerdings nicht möglich, da immer nur bestimmte Temperaturbereiche erfaßt werden können. Thermochrome sind Farben, die bei einer bestimmten Temperatur einen bleibenden Farbumschlag zeigen.

MAYER (20) hat Versuche mit speziell hergestellten Rosenbohrern aus "Werkzeugstahl - Silberstahl" durchgeführt. Die auftretenden Temperaturen konnten entsprechend der Anlauffarben in etwa festgestellt werden.

Sowohl die Versuche von HOFMANN (12) als auch von MAYER (20) zeigen, daß an der Bohr- bzw. Schleifstelle beim Arbeiten mit der Turbine sehr hohe Temperaturen auftreten, falls nur mit Luftkühlung gearbeitet wird. MAYER (20) stellt Temperaturen bis 300°C fest. Auch HOFMANN (12) kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Diese Temperaturen treten aber nur dann auf, wenn die Forderung nach einer intermittierenden Arbeitsweise vernachlässigt wird. Wird dagegen tupfend, wischend gearbeitet, liegen die Temperaturen wesentlich niedriger. Trotzdem werden beim bloßen Aufsetzen des Schleifers bereits $50 - 65^{\circ}\text{C}$ am Boden der Kavität gemessen. (12)

Die aus der Wärmeentwicklung an der Präparationsstelle resultierende Temperaturerhöhung in der Pulpa ist von weitaus größerer biologischer Bedeutung.

Bedingt durch die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Dentins werden im Pulpenkavum auch ohne Wasser- bzw. Spraykühlung erheblich niedrigere Werte gemessen. Entscheidend für die Wärmeentwicklung in der Pulpa ist also auch die Dicke der Dentinschicht zwischen Kavitätenboden und Pulpendach (14, 24).

KLOS und ROTKE (14) messen aber immer noch eine Maximaltemperatur von 48°C am Pulpendach.

Bei diesem Versuchsergebnis mit dem KaVo-Borden Airotor wurde im Dentin mit Diamantschleifern, mit Luftkühlung und einem Andruck von 30 p gearbeitet.

FECHNER (5) registrierte bei den Versuchen an Dentinprüfkörpern als höchste Temperatur $35,8^{\circ}\text{C}$ bei einer Vorschubkraft von 30 p und Luftkühlung (Siemens-Sirona-Turbine).

Bei allen klinisch und experimentellen Versuchen über die Wärmeentwicklung beim Bohren und Schleifen mit der Turbine unter Wasser- bzw. Spraykühlung kam es dagegen nur zu sehr geringfügigen Temperaturanstiegen im Pulpenkavum.

KLOS und ROTKE (14), FECHNER (5), WALTER und LEINEWEBER (34) und STÜBEN und HOPPE (31) konnten sogar bei guter Kühlung eine

Temperaturerniedrigung in der Pulpa feststellen.

Heute wird darum allgemein die Spray- bzw. Wasserkühlung beim Arbeiten mit der Turbine als unerlässlich angesehen. Das Wasser sorgt für den schnellen Abtransport der heißen Bohrspäne und verhindert wirksam ein Verschmieren des Schleifers. Das verminderte Schleifvermögen des Diamanten würde sofort eine Steigerung der Reibungswärme und natürlich eine verminderte Schleifausbeute bedeuten. (7)

Bezüglich der Wasserkühlung sind bis heute drei Fragen immer wieder gestellt worden:

1. Wieviel Wasser wird zur Kühlung benötigt ?
2. Wie hoch soll die Wassertemperatur sein ?
3. Ist der Spray oder der Wasserstrahl besser geeignet ?

FUHR (7), HOFMANN (12), HUNKIRCHEN (13) u.a. halten 30 ml Wasser pro Minute für die Mindestmenge, die beim höchsttourigen Schleifen eingesetzt werden sollte.

Ungeklärt blieb bisher die Frage nach der günstigen Wassertemperatur. Angenehmer für den Patienten ist zweifellos der vorgewärmte Wasserstrahl oder Spray, da freigelegtes Dentin erfahrungsgemäß sehr kälteempfindlich ist. HENSCHEL und MANN (11) haben experimentell festgestellt, daß Reiztemperaturen unter 27° C als unangenehm empfunden werden. Trotzdem treten DRUM (2) und KLOS und ROTTKE (14) für die Kühlung mit kaltem Wasser (Zimmertemperatur) ein, da der Kühleffekt so naturgemäß besser ist. Außerdem ist bei kaltem Wasser eine geringere Wassermenge notwendig. Die Absaugung wird somit erleichtert (7). Der von DRUM (2) ebenfalls angeführte Anästhesieeffekt tritt nach FUHR (7) nicht auf. Durch das sogenannte Einschleichen- ein Herantasten über gesunde Zähne zum Präparationsfeld- ist aber ein Kälteschmerz weitgehend zu vermeiden.

FUHR (7) hat auf Grund klinischer Beobachtungen festgestellt, daß von der Mehrzahl der Patienten der Wasserstrahl dem Spray vorgezogen wird. Es werden weniger Beschwerden angegeben.

Im allgemeinen wird jedoch in der Literatur und auch in der Praxis der Spray dem Wasserstrahl vorgezogen.

2. Histologische Untersuchungen

AHRENS (1), HUNKIRCHEN (13), KLUCZKA (15), LANGELAND (18), MAEGLIN (19), MÜHLEMANN und RATEITSCHAK (22), RAUBER (24), RIETHE (25), STEIN (27), STÜBEN und HOPPE (32), WEDER (36) u.a. haben histologisch untersucht, welche Auswirkungen das höchsttourige Bohren und Schleifen auf den Zahn, insbesondere auf die Pulpa hat.

Es ist schwierig, mit Sicherheit festzustellen, welche pathologische Erscheinung im histologischen Bild durch das Arbeiten mit der Turbine verursacht wird, da nur höchst selten eine "normale" Pulpa zu sehen ist. Selbst Pulpen klinisch gesunder, jugendlicher Zähne zeigen häufig "Veränderungen der Odontoblasten. (Kleinere und größere Vakuolen- Einschlüsse, degenerative Veränderungen), retikulär-atrophische Alterationen des Bindegewebes oder Abweichungen von der Norm hinsichtlich Weite und Füllungsgrad der Gefäße sowie bestehende Blutextravasate". (13) RIETHE (25) gibt eine Zusammenfassung aller möglichen Schäden, die durch eine Präparation hervorgerufen werden können:

" 1. Veränderungen des Dentins

2. Veränderungen in der Odontoblastenschicht

- a) Vakuolenbildung
- b) Dilatation von peripheren Kapillaren
- c) Haemorrhagien
- d) "aspirated odontoblasts"
- e) Auflockerung, Reduktion oder Fehlen der Odontoblastenschicht.

3: Veränderung des Pulpengewebes

- a) diffuse Hyperämie
- b) Haemorrhagien
- c) Infiltrationsherde
- d) retikuläre atrophische Bezirke
- e) hydropische Höhlen
- f) "rebound response" = nicht am Ort der Reizwirkung
liegende Pulpagewebsveränderung. "

Nach übereinstimmender Meinung fast aller Autoren wird in der Wärmeentwicklung die Hauptursache für die obenerwähnten möglichen Präparationsschäden gesehen. STÜBEN und HOPPE (32) geben allerdings als Ursache für eine Gewebsreaktion "eine Störung der Isoionie und Isotonie der Gewebsflüssigkeit" an. Die nur niedrigen Temperaturänderungen stehen ihrer Meinung nach in keiner ursächlichen Beziehung zu den beobachteten Pulpaveränderungen.

Veränderungen im Dentin bei Turbinenpräparationen stellen RAUBER (24), RIETHE (25) und STEIN (27) fest. Die Zone der veränderten Dentinschicht hatte das größte Ausmaß, wenn ohne Kühlung gearbeitet wurde. Bei Spraykühlung war kaum eine Dentinveränderung festzustellen.

Hinsichtlich der Gewebsalterationen in der Pulpa ist man sich nicht einig, in welchem Ausmaß die Präparationen mit der Turbine Schäden verursacht. Sicher ist, daß es ohne Kühlung zu erheblich größeren Schäden kommt als mit einer Wasser- bzw. Spraykühlung. LANGE LAND (18) läßt übrigens nur die Anwesenheit der Odontoblastenkerne in den Dentinkanälchen als Antwort der Pulpa auf eine schädigende Präparation gelten.

MAEGLIN (19), STÜBEN und HOPPE (32) u.a. unterteilen die entstehenden Pulpaaalterationen in primäre und sekundäre Veränderungen.

Die primären Veränderungen stellen die unmittelbaren Folgen des Bohrtraumas dar und sind sofort festzustellen. Sie finden ihren Ausdruck in "Hyperämien, Verlagerung der Odontoblasten-

kerne in die Dentinkanälchen, Blutungen im Pulpagewebe, Reduzierung und Auflockerung der Odontoblastenschicht sowie in einer Nekrotisierung umschriebener, nahe dem Kavitätenboden gelegener Gewebsbezirke." (32)

Zu den sekundären Veränderungen, die erst zu einem späteren Zeitpunkt auftreten, zählen STÜBEN und HOPPE (32) hydropische Entartungen des Pulpagewebes, die Ausbildung von Granulationsgewebe, Rundzelleninfiltrationen und die Verbreiterung des Praedentinsaumes. Alle diese Veränderungen stellen eine Pulpa-reaktion auf die primär durch Präparation verursachten Alterationen dar.

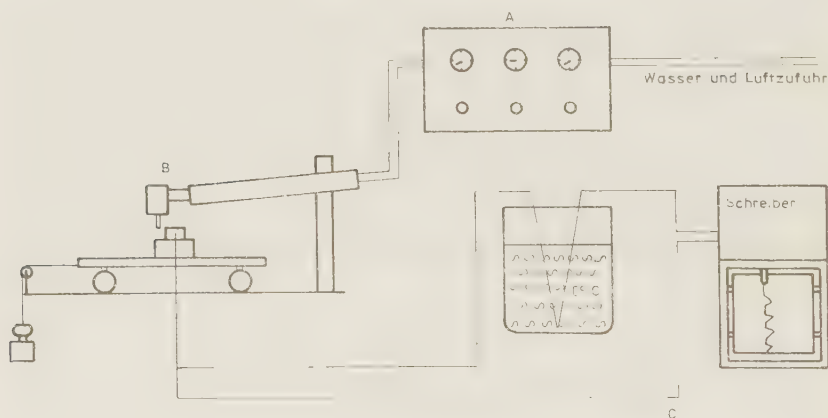
Aufgetretene Präparationsschäden können aber durchaus noch auf Grund der bisher unterschätzten Reaktionsfähigkeit der Pulpa kompensiert werden (1).

Von STÜBEN und HOPPE (32) werden nach einer Turbinenpräparation unter Sprayanwendung keine sekundären Veränderungen festgestellt.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

MATERIAL UND METHODIK

Die schematisierte Versuchs-Skizze möge zum besseren Verständnis der Versuchsbeschreibung dienen.



Der Versuchsaufbau läßt sich in drei miteinander verbundene Einrichtungen aufgliedern:

- A Regler und Kontrollgerät
- B Eigentliche Versuchseinrichtung
- C Meßeinrichtung

A : Spraywasser, Sprayluft und Antriebsluft können durch ein besonders für diesen Zweck konstruiertes Gerät reguliert und dauernd kontrolliert werden. Außerdem läßt sich hier die Versuchsanordnung für einen bzw. zwei Sprays einstellen.

B : Das Turbinenstück ist so befestigt, daß die Eindringtiefe des Diamantschleifers in den Versuchskörper variiert werden kann.

Der Diamant, es handelt sich bei den folgenden Versuchen jeweils um einen ungebrauchten zylindrischen Diamanten mit einem Durchmesser von 1 mm, kann durch zwei am Turbinenkopf austretende Sprays oder durch einen von außen herangeführten Spray gekühlt werden.

Der Versuchskörper, jeweils ein Dentinblock mit den Maßen: 4 mm x 4 mm x 2 mm, ist auf einen auf Schienen laufenden Wagen befestigt. Über eine Rolle ist der Wagen mit einem variablen Gewichtskörper verbunden, der dem Wagen einen dem Gewicht entsprechenden Vorschub in horizontaler Richtung verleiht. Die durch Eigengewicht und Schienenführung auftretende Reibung wird durch zusätzliche Gewichte eliminiert.

C : Die Meßeinrichtung besteht aus einem Kupfer-Konstantan-Thermoelement und einem Spannungsmesser. Bei diesem Thermoelement ergibt sich bei 100° C eine Thermospannung von 4,26 mV. Das Thermoelement eignet sich besonders für diese Versuche, da die Drähte auf Grund ihrer Durchmesser von 0,1 mm nur eine geringe Wärmekapazität besitzen und sich gut in die kleinen Versuchskörper einbringen lassen. Von dem Spannungsmesser wird nicht nur der Temperaturunterschied auf einen Papierstreifen registriert, sondern auf Grund eines bestimmten Papiervorschubes - hier 120 mm/min. - auch die Zeitdauer des jeweiligen Versuches festgehalten. Der Meßbereich des Gerätes beträgt für die Versuche 2 mV.

Die erzielten Temperaturkurven werden mit Hilfe einer in Celsiusgraden geeichten Meßblattskaala ausgewertet.

Um die Versuche möglichst objektiv und genau zu gestalten, wurden sie unter folgenden konstant gehaltenen Bedingungen durchgeführt:

Die Prüfkörper, Kantenlänge 4 mm x 4 mm x 2 mm, wurden aus dem Dentin kariesfreier Zähne hergestellt. Um die Wärmeleitfähigkeit nicht zu beeinträchtigen, wurden sie bis unmittelbar vor

Versuchsbeginn in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt.

- Nach STÜBEN (30) liegt die Wärmeleitfähigkeit trockenen Materials etwa 20 % unter dem Wert physiologisch feuchter Proben. - Genaue und vergleichbare Meßergebnisse lassen sich nur dann erreichen, wenn eine exakte Platzierung der Lötstelle des Thermoelementes gewährleistet ist. Zu diesem Zweck befand sich in jedem Prüfkörper eine Vertiefung von einem halben Millimeter, in der die Lötstelle des Thermoelementes während der Versuchsdurchführung jeweils untergebracht war.

Ein möglichst enger Kontakt zwischen Dentin und Lötstelle wurde durch eine spezielle Hitzeleitpaste garantiert. Nach jedem Versuch konnte der korrekte Sitz des Thermoelements durch Ablösen des Dentinblockes vom Träger überprüft werden. Der Träger des Versuchskörpers bestand aus Kunststoff, um eine zu große Wärmeableitung über den Träger zu vermeiden.

Beim Präparationsvorgang blieben folgende Bedingungen unverändert: Mit einem zylindrischen Diamantschleifkörper ($\varnothing$ 1 mm) wurde jeweils eine Nut von 4 mm Länge, 1 mm Tiefe und 1 mm Breite präpariert. Zwischen Meßstelle und Kavitätenboden blieb eine 0,5 mm dicke Dentinschicht bestehen.

Vor Präparationsbeginn wurde der Versuchsblock immer auf die augenblickliche Spraytemperatur gebracht, die auf Grund der unterschiedlichen Leitungswassertemperatur nicht konstant gehalten werden konnte.

Die Kühlwassermenge betrug bei allen Versuchen 64 ml/min. Der Wasserdruck wurde konstant auf 1,4 at und der Sprayluftdruck auf 1,5 at eingestellt.

Die Turbine arbeitete mit einem Treibluftdruck von 2,5 at.

Unter den obenangeführten Bedingungen wurden folgende Versuche durchgeführt:

Mit jeweils e i n e m S p r a y als Kühlung wurden zehn Versuche mit der Vorschubkraft von 30 p, zehn Versuche mit der Vorschubkraft von 50 p und zehn Versuche mit 100 p Vorschub durchgeführt.

Ebenfalls zehn Versuche mit 30 p, zehn Versuche mit 50 p und zehn Versuche mit 100 p Vorschub wurden mit einer z w e i S p r a y Kühlung vorgenommen.

Zum Schluß ist noch zu erwähnen, daß bei den Versuchen der Versuchskörper mit der obenbeschriebenen Konstruktion bewegt wurde. Die Turbine war starr befestigt, um Vorschubkraft und Abspannmenge möglichst konstant halten zu können.

ERGEBNISSE

Das im Rahmen der Messungen gewonnene Zahlenmaterial ist in den Tabellen 1 bis 6 zusammengefaßt.

Bei den obengenannten sechs verschiedenen Versuchsanordnungen wurden die Ausgangstemperatur, die Temperaturerhöhung (beide in Celsiusgraden) und die Arbeitszeit (in Sekunden) gemessen.

Bei der ersten Versuchsanordnung (Tabelle 1) wurde mit einem Spray gekühlt. Der Kraftaufwand betrug jeweils 30 p. Es fand sich eine Ausgangstemperatur zwischen $16,7^{\circ}\text{C}$ und 21°C mit einem Mittelwert von 19°C . Die Temperaturerhöhung schwankte zwischen $2,4^{\circ}\text{C}$ und $4,7^{\circ}\text{C}$. Der Mittelwert betrug $3,4^{\circ}\text{C}$. Es wurde eine durchschnittliche Arbeitszeit von 30 Sekunden für die Versuche benötigt.

Mit zwei Sprays und ebenfalls 30 p Vorschubkraft wurden die Versuche der zweiten Versuchsgruppe (Tabelle 2) durchgeführt. Es fand sich hier eine Ausgangstemperatur zwischen $20,4^{\circ}\text{C}$ und 26°C . Der Mittelwert betrug $22,5^{\circ}\text{C}$. Die Temperaturerhöhung lag zwischen 1°C und $1,9^{\circ}\text{C}$. Es ergab sich ein Mittelwert von $1,4^{\circ}\text{C}$.

Durchgeführt wurden diese Versuche mit einer durchschnittlichen Arbeitszeit von ebenfalls 30 Sekunden.

In der dritten Versuchsgruppe (Tabelle 3) wurde ein Spray als Kühlung eingesetzt. Es wurde mit einer Vorschubkraft von 50 p gearbeitet. Die Ausgangstemperatur lag zwischen 19°C und $21,4^{\circ}\text{C}$. Es fand sich ein Mittelwert von $20,5^{\circ}\text{C}$. Die Temperaturerhöhung schwankte zwischen $1,7^{\circ}\text{C}$ und $4,5^{\circ}\text{C}$. Der Mittelwert betrug $3,2^{\circ}\text{C}$. Es wurde im Durchschnitt eine Arbeitszeit von 15,9 Sekunden benötigt.

Mit einer Kühlung von zwei Sprays und einem Vorschub von 50 p

wurden die zehn Versuche der vierten Versuchsanordnung (Tabelle 4) durchgeführt. Bei den Versuchen lag eine Ausgangstemperatur zwischen 20°C und 23°C vor, woraus sich ein Mittelwert von $21,4^{\circ}\text{C}$ errechnete. Temperaturerhöhungen von 1°C bis $1,6^{\circ}\text{C}$ ergaben einen Mittelwert von $1,4^{\circ}\text{C}$. Für diese Versuchsgruppe wurde eine durchschnittliche Arbeitszeit von 15 Sekunden benötigt.

Die fünfte und sechste Versuchsreihe (Tabelle 5 und 6) wurden mit einem Vorschub von 100 p durchgeführt.

Für die fünfte Versuchsanordnung (Tabelle 5) wurde ein Spray als Kühlung eingesetzt. Der Mittelwert für die Ausgangstemperatur von $20,2^{\circ}\text{C}$ ergab sich aus Werten zwischen 19°C und $20,9^{\circ}\text{C}$. Es ergaben sich Temperaturerhöhungen zwischen $2,4^{\circ}\text{C}$ und $4,7^{\circ}\text{C}$. Der Mittelwert betrug 3°C . 5,4 Sekunden wurden durchschnittlich als Arbeitszeit festgestellt.

Mit zwei Sprays als Kühlung wurde in der sechsten Versuchsanordnung (Tabelle 6) gearbeitet. Hier ergaben sich Ausgangstemperaturen zwischen $20,2^{\circ}\text{C}$ und $21,9^{\circ}\text{C}$. Der Mittelwert betrug $21,2^{\circ}\text{C}$. Die Temperaturerhöhungen zwischen 1°C und $1,6^{\circ}\text{C}$ führten zu einem Durchschnittswert von $1,2^{\circ}\text{C}$. Als Mittelwert für die Arbeitszeit wurden 5,4 Sekunden festgestellt.

Zum Vergleich wurde ein Versuch ohne Kühlung mit einem Vorschub von 100 p durchgeführt. (Abbildung 2) Hierbei ergab sich eine Ausgangstemperatur von $20,9^{\circ}\text{C}$ und eine Temperaturerhöhung von $19,3^{\circ}\text{C}$. Die Arbeitszeit betrug 8 Sekunden.

Zur besseren Übersicht sind in Tabelle 7 alle Mittelwerte gegenübergestellt worden.

Für die erste Versuchsreihe (Tabelle 1) ergaben sich für die Temperaturerhöhung ein Mittelwert von $3,4^{\circ}\text{C}$ und für die Arbeitszeit ein Mittelwert von 30 Sekunden.

Die Mittelwerte für die Temperaturerhöhung und Arbeitszeit betrugen bei der zweiten Versuchsanordnung (Tabelle 2) $1,4^{\circ}\text{C}$ und 30 Sekunden.

Bei der dritten Versuchsanordnung wurden für die Temperaturerhöhung ein Mittelwert von $3,2^{\circ}\text{C}$ und für die Arbeitszeit ein Mittelwert von 15,9 Sekunden festgestellt.

Für die vierte Versuchsgruppe ergaben sich für die Temperaturerhöhung ein Mittelwert von $1,4^{\circ}\text{C}$ und für die Arbeitszeit ein Mittelwert von 15 Sekunden.

Der Mittelwert von 3°C für die Temperaturerhöhung und der Mittelwert von 5,4 Sekunden für die Arbeitszeit errechneten sich bei der fünften Versuchsanordnung.

Die sechste Versuchsreihe brachte für die Temperaturerhöhung den Mittelwert von $1,2^{\circ}\text{C}$ und für die Arbeitszeit den Mittelwert von 5,4 Sekunden.

Die Auswirkungen der Sprayanzahl auf die Temperaturerhöhungen verdeutlicht die Abbildung 3.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Bei der Auswertung der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen ergibt sich folgendes Bild:

1. Zweidüsenystem

1.1. Unter allen Versuchsbedingungen ergaben sich Temperaturerhöhungen, deren Mittelwerte bei einer Belastung von 30 p und 50 p bei $1,4^{\circ}\text{C}$ und bei einer Belastung von 100 p bei $1,2^{\circ}\text{C}$ lagen.

1.2. Die Dauer eines Arbeitsganges (Anlegen einer Nut von 1 mm Breite und Tiefe und 4 mm Länge) war abhängig von der Vorschubkraft, die durch die unterschiedliche Belastung hervorgerufen wurde. Hierbei ergab sich, daß die Arbeitszeiten bei einer Belastung von 30 p durchschnittlich 30 Sekunden, bei einer Belastung von 50 p durchschnittlich 15 Sekunden und bei einer Belastung von 100 p durchschnittlich 5,4 Sekunden betrugen.

Eine Belastungserhöhung auf 50 p brachte eine Verkürzung der Arbeitszeit um die Hälfte. Eine weitere Erhöhung auf 100 p verkürzte die Arbeitszeit auf $1/6$ der Dauer bei einer Belastung von 30 p. Für dieselbe Schleifarbeit wird also bei höherem Andruck weniger Zeit benötigt. Die Schleifausbeute nimmt mit steigendem Anpreßdruck zu, was den Untersuchungsergebnissen von FUHR (7), GÄRTNER (9) und STROH (28) entspricht.

Eine weitere Erhöhung der Belastung (150 p) und damit der Vorschubkraft brachte keine Erhöhung der Schleifleistung, da der Schleifkörper, bedingt durch die geringe Durchzugskraft der Turbine, bis zum Stillstand abgebremst wurde und der Versuch abgebrochen werden mußte.

1.3. Weiter zeigte sich, daß die Temperaturerhöhung bei den verschiedenen gegebenen Versuchsbedingungen annähernd gleich war. Die Temperaturerhöhung an der Meßstelle (0,5 mm von

der Bohrstelle entfernt) ist demnach nicht abhängig von den Anpreßdrucken. Die Ursache hierfür ist sicherlich in der Verkürzung des einzelnen Arbeitsganges in Verbindung mit der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Dentins zu sehen. Hiermit wird die Forderung einer tupfenden und intermittierenden Arbeitsweise mit höchsttourigen Instrumenten bestätigt.

2. Eindüsensystem

- 2.1. Die Mittelwerte der Temperaturerhöhungen bei denselben Belastungen, die mit dem Zweidüsensystem angewandt wurden, lagen bei den Versuchen mit dem Eindüsensystem bei $3,4^{\circ}\text{C}$, $3,2^{\circ}\text{C}$ und $3,0^{\circ}\text{C}$.
- 2.2. Für die Arbeitszeiten ergaben sich bei den Versuchen mit dem Eindüsensystem keine nennenswerten Unterschiede zu den Ergebnissen, die mit dem Zweidüsensystem unter sonst gleichen Versuchsbedingungen erzielt wurden.
- 2.3. Parallel zu den Versuchsergebnissen mit dem Zweidüsensystem zeigte sich auch hier, daß die Belastungsunterschiede keinen großen Einfluß auf die Temperaturerhöhung an der Meßstelle haben.

3. Vergleich der Düsensysteme

Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse für das Ein- und Zweidüsensystem führt zu folgenden Rückschlüssen:

Die Temperaturerhöhung bei Anwendung des Eindüsensystems ist deutlich größer als beim Zweidüsensystem (Tab. 7).

Dieser Effekt beruht darauf, daß der kühnende Spraystrahl nicht direkt auf den Schleifkörper, bzw. Schleifort wirkt, sondern bei der gegebenen Versuchsanordnung (siehe die Arbeitsweise) vor der Arbeitsstelle auf die Prüfkörperoberfläche trifft. Auch beim Zweidüsensystem treffen die beiden Spray-

strahlen nicht direkt auf die Arbeitsstelle. Dennoch wird die bereits ausgearbeitete Nut besser von der Kühlflüssigkeit erreicht und gefüllt. Der von LAMPERT (16) beschriebene Zahnradpumpeneffekt des routierenden Schleifkörpers saugt das Wasser an, so daß der Schleifort benetzt und gekühlt wird. Außerdem wird die Meßstelle besser gekühlt, weil der Boden der Nut, der mit dem Zweidüsensystem besser vom Kühlwasser erreicht wird, nur 0,5 mm von dem Thermoelement entfernt ist.

Von den maximal erreichten Temperaturerhöhungen - Eindüsen-system $4,7^{\circ}\text{C}$, Zweidüsensystem $1,9^{\circ}\text{C}$ - und den daraus resultierenden Gesamttemperaturen (Ausgangstemperatur plus Temperaturerhöhung) von $25,5^{\circ}\text{C}$ bzw. $27,9^{\circ}\text{C}$ sind im Hinblick darauf, daß die Zahntemperatur auch in Pulpanähe stark von der Spraytemperatur abhängig ist (17) keine thermisch bedingten Pulpaschädigungen zu erwarten.

Die sogar von FECHNER (5), FUHR (6) und STÜBEN und HOPPE (31, 32) beobachteten Temperaturerniedrigungen sind auf denselben Spraywassereffekt zurückzuführen.

Pulpaschädigende Temperaturerhöhungen wurden nur bei der Arbeit ohne Spraykühlung erreicht (Abb. 2). Dies widerspricht den Untersuchungsergebnissen von STÜBEN und HOPPE (31, 32) und FUHR (6), die auch ohne Spray- bzw. Wasserkühlung keine schädigenden Temperaturanstiege erreichten.

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, welchen Einfluß die 2 Spray- bzw. 1 Spray-Kühlung auf die Wärmeentwicklung beim höchsttourigen Beschleifen der Zahnhartsubstanz hat.

Es wurden 6 verschiedene Versuchsreihen mit je 10 Versuchen durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten, daß es durch die Kühlung mit 2 Sprays zu geringeren Temperaturerhöhungen kommt. Die Werte lagen bei Vorschüben von 30 p, 50 p und 100 p im Durchschnitt 2°C bzw. $1,8^{\circ}\text{C}$ niedriger als bei der Kühlung mit einem Spray. Da aber die Temperaturerhöhungen bei der 1 Spray-Kühlung mit Mittelwerten von $3,4^{\circ}\text{C}$, $3,2^{\circ}\text{C}$ und 3°C ebenfalls kaum eine Pulpaschädigung verursachen können, ist das höchsttourige Schleifen mit einer Kühlung von 1 Spray vertretbar; immer unter den Voraussetzungen, daß das Spraywasser die Mindestmenge von 30 ml/min. hat, kalt ist (etwa 20°C) und intermittierend - mit dem Vorschub entsprechenden kurzen Arbeitszeiten - gearbeitet wird !

Unter diesen Bedingungen beeinflußten die verschiedenen Vorschubkräfte von 30 p, 50 p und 100 p die Wärmeentwicklung beim höchsttourigen Schleifen nur unerheblich.

LITERATURVERZEICHNIS

1. AHRENS, G.: Die Pulpa des beschliffenen Zahnes.
Dtsch.zahnärztl.Z. 22, 1283-1287 (1967)
2. DRUM, W.: Warmes und kaltes Kühlwasser beim Airotor ?
Quintessenz 11, H. 9, Ref. 1479
S. 43-45 (1960)
3. EICHNER, K.: Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren
und Schleifen.
Wissenschaftliche Untersuchungen und klinische
Folgerungen II. Teil.
Dtsch.zahnärztl.Z. 18, 113-117 (1963)
4. EICHNER, K.: Zusammenfassung und Interpretation der Er-
gebnisse vorstehender Arbeiten.
Dtsch.zahnärztl.Z. 15, 116-119 (1960)
5. FECHNER, U.: Temperaturmessungen an Zahnhartsubstanzen
beim normal-, hoch- und höchsttourigen Bohren
(Fräsen).
Med.Diss. F.U.Berlin 1960
6. FUHR, K.: Vergleichende Untersuchungen über die Tempera-
turverhältnisse beim zahnärztlichen Bohren
und Schleifen.
Dtsch.zahnärztl.Z. 18, 986-991 (1963)
7. FUHR, K.: Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Be-
handlung der Zahnhartsubstanzen unter Berück-
sichtigung der Pulpenveränderungen und der
Periodontalreaktionen.
Habil.-Schr., Mainz 1964

8. FUHR, K.: Zusammenfassende Darstellung unserer Erfahrungen mit den Schnellstlaufgeräten.
Zahnärztl.Welt/Ref. 63, 244-248 (1962)
9. GÄRTNER, D.: Vergleichende Untersuchungen zum Bohren und Schleifen mit höchsten Drehzahlen (Borden-Airotor).
Dtsch.zahnärztl.Z. 15, 80-87 (1960)
10. GREUTER, A.: Einige physikalische Gesichtspunkte zum Präparieren mit hohen Drehzahlen.
Schweiz.Mschr. Zahnheilk. 70, 863-876 (1960)
11. HENSEL, H.
u. G.MANN: Temperaturschmerz und Wärmeleitung im menschlichen Zahn.
Stoma, 9, 76-83 (1956)
12. HOFMANN, M.: Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum und an der Schnittfläche bei der Präparation der Zahnhartsubstanzen unter Verwendung der Turbine.
Dtsch.zahnärztl.Z. 16, 584-590 (1961)
13. HUNKIRCHEN, M.: Ist die Präparation vitaler Zähne ohne ausreichenden Spray bei Anwendung hoher und höchster Umdrehungsgeschwindigkeiten zu verantworten ?
Dtsch.zahnärztl.Z. 17, 1301-1310 (1962)
14. KLOS, H.
u. R.ROTTKE: Experimentelle Untersuchungen zum Temperaturproblem beim höchsttourigen Bohren und Schleifen mit Turbinengeräten.
Dtsch.zahnärztl.Z. 15, 1659-1679 (1960)

15. KLUCZA, J.: Die Auswirkungen des hoch- und höchst-
tourigen Schleifen und Bohrens auf Dentin
und Pulpa.
Zahnärztl.Welt/Reform 60, 445-449 (1959)

16. LAMPERT, F.: Das Kühlsystem zahnärztlicher Turbinen im
High-speed-Verfahren.
Film, Tagung DGZMK Hamburg 1974

17. LAMPERT, F.
u. K.HAHNE: Vergleichende Untersuchungen der Leistungs-
fähigkeit des Ein- und Zweidüsenkühlsystems
von Turbinen.
Dtsch.zahnärztl.Z. 29, 1046-1050 (1974)

18. LANGELAND, K.: Pulp reactions to high speed instrumentation.
Norske Tannlaegeforen Tid, 68, 127-129 (1958)

19. MAEGLIN, B.: Auswirkungen der Kavitätenpräparation mit
höchsten Geschwindigkeiten in histologischen
Untersuchungen.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 70, 877-881 (1960)

20. MAYER, A.: Die Bedeutung experimenteller und klinischer
Untersuchungen über die hohen und höchsten
Drehzahlen.
Dtsch.zahnärztl.Z. 19, 520-528 (1964)

21. MAYER, A.: Schmerzarme und rationelle Bearbeitung der
Zahnhartsubstanz.
Zahnärztl.Mitt. 6, 267-271 (1962)

22. MÜHLEMANN, H.R. Airotorpulpen
u. K.RATEITSCHAK: Zahnärztl.Rdsch. 68, 307-312 (1959)

23. PEYTON, F.A.: Effectiveness of atercoolants with rotary cutting instruments.
J.Amer.Dent.Ass. 56, 664-675 (1958)
24. RAUBER, G.: Die Wirkung der Reibungswärme auf das Dentin.
Dtsch.zahnärztl.Z., 17, 806-811 (1962)
25. RIETHE, P.: Präparation und Pulpa.
Dtsch.zahnärztl.Z., 24, 695-704 (1969)
26. SCHUBERT, L.: Temperaturmessungen im Zahn während des Schleif- und Bohrvorganges mittels des Lichtstrichgalvanometers.
Zahnärztl.Welt/Reform 8, 443-445 (1957)
27. STEIN, U.: Die thermischen und mechanischen Einflüsse auf die Zahnhartsubstanzen durch normal-, hoch- und höchsttourige Präparation.
Dtsch.zahnärztl.Z., 19, 894-901
28. STROH, W.: Schleifleistungen zahnärztlicher Diamanten bei hohen und höchsten Umdrehungen.
Dtsch.zahnärztl.Z., 15, 77-80 (1960)
29. STÜBEN, J.: Grundlagen der Temperaturmessung im Zahn.
Dtsch.zahnärztl.Z., 16, 314-316 (1961)
30. STÜBEN, J.: Experimentelle Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit der Zahnhartsubstanzen sowie verschiedener zahnärztlicher Werkstoffe.
Dtsch.zahnärztl.Z., 17, 25-31 (1962)

31. STÜBEN, J.
u. W.F.HOPPE: Experimentelle Untersuchungen über die Temperaturveränderung in der Zahnhartsubstanz beim höchsttourigen Bohren und Schleifen.

Dtsch.zahnärztl.Z., 17, 477-486 (1962)

32. STÜBEN, J.
u. W.F.HOPPE: Experimentelle Untersuchungen über die Veränderungen der Pulpa nach normal- und höchsttourigem Schleifen und Bohren im histologischen Bild.

Dtsch.zahnärztl.Z., 19, 601-611 (1964)

33. WALSER, G.: Experimentell-physikalische Untersuchungen über das Bohren und Schleifen mit turbinengetriebenen Instrumenten bei höchsten Drehzahlen.

Med.Diss. Mainz 1959

34. WALTER, H.G.
u. G.LEINEWEBER: Messungen mit Thermoelementen im Pulpenkavum extrahierter Zähne bei Airotor-Präparationen.

Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 70, 415-423 (1960)

35. WALSH, J.P.
u. H.F.SYMMONS: Vibration perception in teeth during cavity preparation.

New Zealand Dent. J., 44, 39-44 (1948)

36. WEDER, M.: Über die Veränderungen der Pulpa des menschlichen Zahnes nach Beschleifen mit hohen Geschwindigkeiten, in: EICHNER, K.: "Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen."

Carl Hanser-Verlag, München 93-102 (1966)

Versuch Nr.	Ausgangs- temperatur in °C	Temperatur- erhöhung in °C	Arbeitszeit in sec
1	20,8	4,7	33
2	21	4	53
3	20	2,5	41
4	19,5	2,4	24
5	19,4	3,3	34
6	19,4	3,3	27
7	16,7	3,8	30
8	17	3,5	23
9	17,4	3,5	20
10	18,8	2,6	18
Mittel- werte :	19,6	3,4 °C	30 sec

Tabelle 1

Versuch Nr.	Ausgangs- temperatur in °C	Temperatur- erhöhung in °C	Arbeitszeit in sec
1	20,4	1,7	10
2	20,5	1,7	10
3	20,6	1,7	10
4	20,7	1,7	10
5	20,8	1,7	10
6	20,9	1,7	10
7	21,0	1,7	10
8	21,1	1,7	10
9	21,2	1,7	10
10	21,3	1,7	10
11	21,4	1,7	10
12	21,5	1,7	10
13	21,6	1,7	10
14	21,7	1,7	10
15	21,8	1,7	10
16	21,9	1,7	10
17	22,0	1,7	10
18	22,1	1,7	10
19	22,2	1,7	10
20	22,3	1,7	10
21	22,4	1,7	10
22	22,5	1,7	10
23	22,6	1,7	10
24	22,7	1,7	10
25	22,8	1,7	10
26	22,9	1,7	10
27	23,0	1,7	10
28	23,1	1,7	10
29	23,2	1,7	10
30	23,3	1,7	10
31	23,4	1,7	10
32	23,5	1,7	10
33	23,6	1,7	10
34	23,7	1,7	10
35	23,8	1,7	10
36	23,9	1,7	10
37	24,0	1,7	10
38	24,1	1,7	10
39	24,2	1,7	10
40	24,3	1,7	10
41	24,4	1,7	10
42	24,5	1,7	10
43	24,6	1,7	10
44	24,7	1,7	10
45	24,8	1,7	10
46	24,9	1,7	10
47	25,0	1,7	10
48	25,1	1,7	10
49	25,2	1,7	10
50	25,3	1,7	10
51	25,4	1,7	10
52	25,5	1,7	10
53	25,6	1,7	10
54	25,7	1,7	10
55	25,8	1,7	10
56	25,9	1,7	10
57	26,0	1,7	10
58	26,1	1,7	10
59	26,2	1,7	10
60	26,3	1,7	10
61	26,4	1,7	10
62	26,5	1,7	10
63	26,6	1,7	10
64	26,7	1,7	10
65	26,8	1,7	10
66	26,9	1,7	10
67	27,0	1,7	10
68	27,1	1,7	10
69	27,2	1,7	10
70	27,3	1,7	10
71	27,4	1,7	10
72	27,5	1,7	10
73	27,6	1,7	10
74	27,7	1,7	10
75	27,8	1,7	10
76	27,9	1,7	10
77	28,0	1,7	10
78	28,1	1,7	10
79	28,2	1,7	10
80	28,3	1,7	10
81	28,4	1,7	10
82	28,5	1,7	10
83	28,6	1,7	10
84	28,7	1,7	10
85	28,8	1,7	10
86	28,9	1,7	10
87	29,0	1,7	10
88	29,1	1,7	10
89	29,2	1,7	10
90	29,3	1,7	10
91	29,4	1,7	10
92	29,5	1,7	10
93	29,6	1,7	10
94	29,7	1,7	10
95	29,8	1,7	10
96	29,9	1,7	10
97	30,0	1,7	10
98	30,1	1,7	10
99	30,2	1,7	10
100	30,3	1,7	10
101	30,4	1,7	10
102	30,5	1,7	10
103	30,6	1,7	10
104	30,7	1,7	10
105	30,8	1,7	10
106	30,9	1,7	10
107	31,0	1,7	10
108	31,1	1,7	10
109	31,2	1,7	10
110	31,3	1,7	10
111	31,4	1,7	10
112	31,5	1,7	10
113	31,6	1,7	10
114	31,7	1,7	10
115	31,8	1,7	10
116	31,9	1,7	10
117	32,0	1,7	10
118	32,1	1,7	10
119	32,2	1,7	10
120	32,3	1,7	10
121	32,4	1,7	10
122	32,5	1,7	10
123	32,6	1,7	10
124	32,7	1,7	10
125	32,8	1,7	10
126	32,9	1,7	10
127	33,0	1,7	10
128	33,1	1,7	10
129	33,2	1,7	10
130	33,3	1,7	10
131	33,4	1,7	10
132	33,5	1,7	10
133	33,6	1,7	10
134	33,7	1,7	10
135	33,8	1,7	10
136	33,9	1,7	10
137	34,0	1,7	10
138	34,1	1,7	10
139	34,2	1,7	10
140	34,3	1,7	10
141	34,4	1,7	10
142	34,5	1,7	10
143	34,6	1,7	10
144	34,7	1,7	10
145	34,8	1,7	10
146	34,9	1,7	10
147	35,0	1,7	10
148	35,1	1,7	10
149	35,2	1,7	10
150	35,3	1,7	10
151	35,4	1,7	10
152	35,5	1,7	10
153	35,6	1,7	10
154	35,7	1,7	10
155	35,8	1,7	10
156	35,9	1,7	10
157	36,0	1,7	10
158	36,1	1,7	10
159	36,2	1,7	10
160	36,3	1,7	10
161	36,4	1,7	10
162	36,5	1,7	10
163	36,6	1,7	10
164	36,7	1,7	10
165	36,8	1,7	10
166	36,9	1,7	10
167	37,0	1,7	10
168	37,1	1,7	10
169	37,2	1,7	10
170	37,3	1,7	10
171	37,4	1,7	10
172	37,5	1,7	10
173	37,6	1,7	10
174	37,7	1,7	10
175	37,8	1,7	10
176	37,9	1,7	10
177	38,0	1,7	10
178	38,1	1,7	10
179	38,2	1,7	10
180	38,3	1,7	10
181	38,4	1,7	10
182	38,5	1,7	10
183	38,6	1,7	10
184	38,7	1,7	10
185	38,8	1,7	10
186	38,9	1,7	10
187	39,0	1,7	10
188	39,1	1,7	10
189	39,2	1,7	10
190	39,3	1,7	10
191	39,4	1,7	10
192	39,5	1,7	10
193	39,6	1,7	10
194	39,7	1,7	10
195	39,8	1,7	10
196	39,9	1,7	10
197	40,0	1,7	10
198	40,1	1,7	10
199	40,2	1,7	10
200	40,3	1,7	10
201	40,4	1,7	10
202	40,5	1,7	10
203	40,6	1,7	10
204	40,7	1,7	10
205	40,8	1,7	10
206	40,9	1,7	10
207	41,0	1,7	10
208	41,1	1,7	10
209	41,2	1,7	10
210	41,3	1,7	10
211	41,4	1,7	10
212	41,5	1,7	10
213	41,6	1,7	10
214	41,7	1,7	10
215	41,8	1,7	10
216	41,9	1,7	10
217	42,0	1,7	10
218	42,1	1,7	10
219	42,2	1,7	10
220	42,3	1,7	10
221	42,4	1,7	10
222	42,5	1,7	10
223	42,6	1,7	10
224	42,7	1,7	10
225	42,8	1,7	10
226	42,9	1,7	10
227	43,0	1,7	10
228	43,1	1,7	10
229	43,2	1,7	10
230	43,3	1,7	10
231	43,4	1,7	10
232	43,5	1,7	10
233	43,6	1,7	10
234	43,7	1,7	10
235	43,8	1,7	10
236	43,9	1,7	10
237	44,0	1,7	10
238	44,1	1,7	10
239	44,2	1,7	10
240	44,3	1,7	10
241	44,4	1,7	10
242	44,5	1,7	10
243	44,6	1,7	10
244	44,7	1,7	10
245	44,8	1,7	10
246	44,9	1,7	10
247	45,0	1,7	10
248	45,1	1,7	10
249	45,2	1,7	10
250	45,3	1,7	10
251	45,4	1,7	10
252	45,5	1,7	10
253	45,6	1,7	10
254	45,7	1,7	10
255	45,8	1,7	10
256	45,9	1,7	10
257	46,0	1,7	10
258	46,1	1,7	10
259	46,2	1,7	10
260	46,3	1,7	10
261	46,4	1,7	10
262	46,5	1,7	10
263	46,6	1,7	10
264	46,7	1,7	10
265	46,8	1,7	10
266	46,9	1,7	10
267	47,0	1,7	10
268	47,1	1,7	10
269	47,2	1,7	10
270	47,3	1,7	10
271	47,4	1,7	10
272	47,5	1,7	10
273	47,6	1,7	10
274	47,7	1,7	10
275	47,8	1,7	10
276	47,9	1,7	10
277	48,0	1,7	10
278	48,1	1,7	10
279	48,2	1,7	10
280	48,3	1,7	10
281	48,4	1,7	10
282	48,5	1,7	10
283	48,6	1,7	10
284	48,7	1,7	10
285	48,8	1,7	10
286	48,9	1,7	10
287	49,0	1,7	10
288	49,1	1,7	10
289	49,2	1,7	10
290	49,3	1,7	10
291	49,4	1,7	10
292	49,5	1,7	10
293	49,6	1,7	10
294	49,7	1,7	10
295	49,8	1,7	10
296	49,9	1,7	10
297	50,0	1,7	10
298	50,1	1,7	10
299	50,2	1,7	10
300	50,3	1,7	10
301	50,4	1,7	10
302	50,5	1,7	10
303	50,6	1,7	10
304	50,7	1,7	10
305	50,8	1,7	10
306	50,9	1,7	10
307	51,0	1,7	10
308	51,1	1,7	10
309	51,2	1,7	10
310	51,3	1,7	10
311	51,4	1,7	10
312	51,5	1,7	10
313	51,6	1,7	10
314	51,7	1,7	10
315	51,8	1,7	10
316	51,9	1,7	10
317	52,0	1,7	10
318	52,1	1,7	10
319	52,2	1,7	10
320	52,3	1,7	10
321	52,4	1,7	10
322	52,5	1,7	10
323	52,6	1,7	10
324	52,7	1,7	10
325	52,8	1,7	10
326	52,9		

Versuch Nr.	Ausgangs- temperatur in °C	Temperatur- erhöhung in °C	Arbeitszeit in sec
1	20,7	4,2	15
2	21,4	1,9	14
3	20,1	2,4	13
4	19,0	4,5	20
5	19,8	3,9	16
6	21,1	1,7	14
7	21,0	2,0	18
8	21,1	2,7	20
9	21,1	1,1	13
10	19,5	3,5	16
Mittel- werte :	20,5°C	2,2°C	15,9 sec

Tabelle

Versuch Nr.	Ausgangs- temperatur in °C	Temperatur- erhöhung in °C	Arbeitszeit in sec
1	20,7	1,4	18
2	20,6	1,6	13
3	20,0	1,6	13
4	20,7	1,6	17
5	23,0	1,0	15
6	22,7	1,4	19
7	23,3	1,0	15
8	27,0	1,0	16
9	20,7	1,4	17
10	20,7	1,6	15
Mittel- werte :	21,4°C	1,4°C	15 sec

Tabelle 4

Versuch Nr.	Ausgangs- temperatur in °C	Temperatur- erhöhung in °C	Arbeitszeit in sec
1	20,9	4,7	4
2	20,7	2,6	4
3	20,2	2,6	6
4	20,2	3,1	6
5	20,9	4,2	6
6	19,0	2,4	5
7	20,2	2,4	6
8	20,4	3,5	7
9	20,0	2,2	6
10	19,1	2,6	7
Mittel- werte :	20,1 °C	2,9 °C	5,4 sec

Tabelle 2

Versuch Nr.	Ausgangs- temperatur in °C	Temperatur- erhöhung in °C	Arbeitszeit in sec.
1	20,7	1,4	6
2	20,9	1,2	6
3	20,7	1,0	4
4	20,2	1,4	5
5	20,1	1,0	5
6	20,1	1,2	6
7	20,2	1,0	6
8	20,1	1,3	7
9	20,2	1,2	5
10	20,1	1,2	4
Mittel- werte :	20,2	1,2	5,1 sec.

Tabelle 1

Vorschub p	30 p		50 p		100 p	
Anzahl der Sprays	1	2	1	2	1	2
Temperatur- erhöhung in °C Mittelwerte	3,4	1,4	3,2	1,4	3	1,2
Arbeitszeiten in sec. (Mittelwerte)	30	30	15,9	15	5,4	5,4

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Mittelwerte

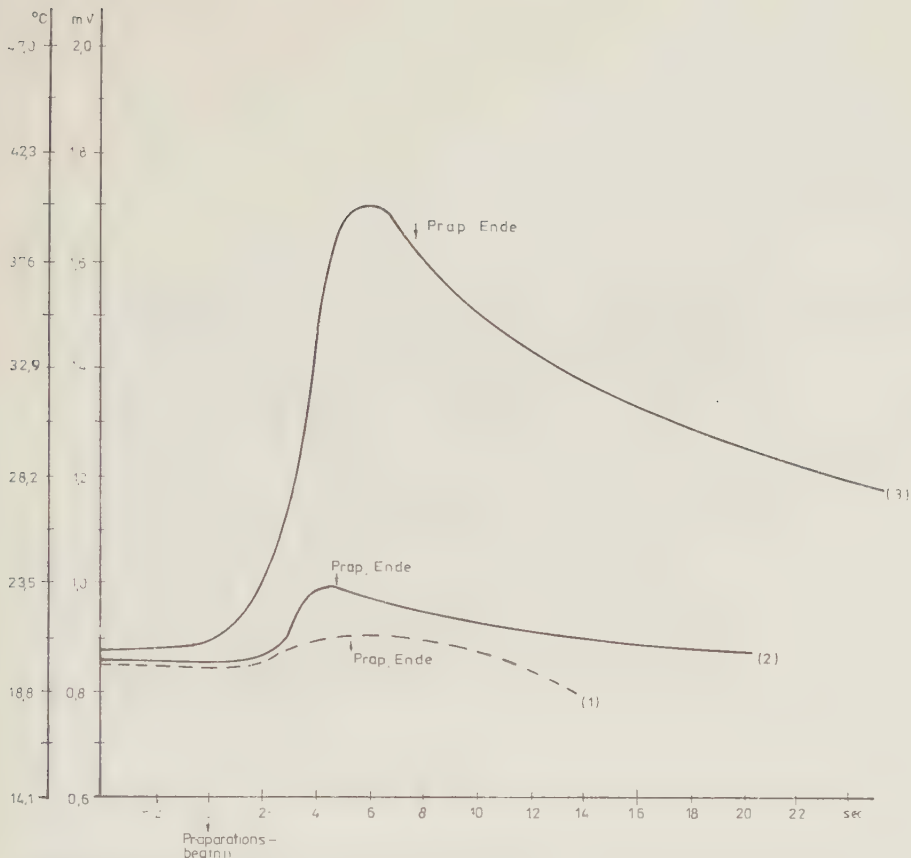


Abb. 2: Die Temperaturerhöhung beim höchsttourigen Schleifen mit einem Vorschub von 100 p

- (1) 2 Spray-Kühlung
- (2) 1 Spray-Kühlung
- (3) ohne Kühlung

Anmerkung: Die Temperatur errechnet sich aus der Tatsache, daß bei dem verwendeten Thermoelement bei 100° C eine Thermospannung von 4,26 mV vorliegt.

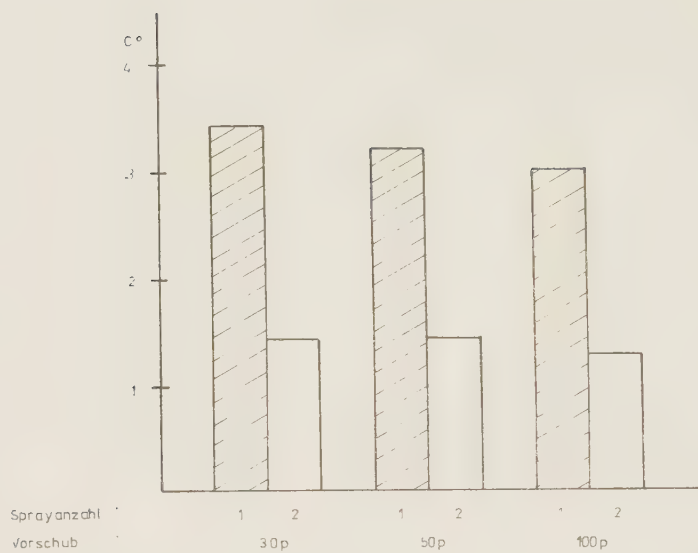


Abb. 3: Auswirkung der Sprayanzahl auf die Temperaturerhöhung

An dieser Stelle sei mir gestattet, Herrn Professor Dr. Dr. W. Ketterl für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und für die jederzeit freundliche Unterstützung zu danken.

Zudem bedanke ich mich bei der Firma Siemens für die Zusammenstellung und freundliche Überlassung der Versuchsanordnung.

Meinen besonderen Dank möchte ich meinem Kollegen J. Apitz für seine persönliche Unterstützung bei der Durchführung meiner Arbeit aussprechen.

LEBENS LAUF

Als Sohn des Zahnarztes Dr. Adolf Trampe-Kieslich und seiner Frau Dorothea geb. Schübeler, wurde ich, Bernd Trampe-Kieslich, am 13. Oktober 1943 in Geseke/Westfalen geboren.

Ich habe einen Zwilling Bruder, bin römisch-katholisch und besitze die deutsche Staatsangehörigkeit.

Ostern 1950 wurde ich eingeschult und besuchte ab Ostern 1954 das "Progymnasium Antonianum Geseke".

Ostern 1959 wechselte ich zum "Städtisch-neusprachlichen Gymnasium Paderborn" über, an dem ich am 27. Februar 1964 die Reifeprüfung bestand.

Am 1. April 1964 wurde ich zur Ableistung meines Wehrdienstes in das Panzergrenadier-Bataillon in Northeim/Han. eingezogen. Erst nach der Grundausbildung verpflichtete ich mich dort für zwei Jahre. Am 1. Januar 1966 wurde ich in demselben Verband zum Leutnant befördert.

Im Sommersemester 1966 begann ich mein Zahnmedizin-Studium an der "Johannes Gutenberg-Universität Mainz". Dort bestand ich am 9. Oktober 1967 die "Naturwissenschaftliche Vorprüfung". Nach fünf klinischen Semestern an der "Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz" erhielt ich nach Bestehen der "Zahnärztlichen Prüfung" am 7. Dezember 1971 die Bestallung als Zahnarzt.

Seit dem 1. Mai 1972 bin ich als Assistent in der Praxis meines Vaters tätig.

